

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2003 年 5 月 15 日 (15.05.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/039817 A1

(51) 国際特許分類:
9/22, 3/00, 13/00, G05B 19/18

B25J 9/16,

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 松本 直之 (MATSUMOTO, Naoyuki) [JP/JP]; 〒655-0885 兵庫県神戸市 垂水区 泉が丘 4-1-6 3 2 Hyogo (JP). 佐野 正俊 (SANO, Masatoshi) [JP/JP]; 〒675-0103 兵庫県 加古川市 平岡町 高畑 3 7 2-1 1 Hyogo (JP). 前原 毅 (MAEHARA, Tsuyoshi) [JP/JP]; 〒664-0028 兵庫県 伊丹市 西野 2-4 7 6 Hyogo (JP). 下村 信恭 (SHIMOMURA, Nobuyasu) [JP/JP]; 〒651-2121 兵庫県 神戸市 西区 玉津町 水谷 4 0-7 Hyogo (JP). 上野 高廣 (UENO, Takahiro) [JP/JP]; 〒674-0092 兵庫県 明石市 二見町 西二見 5 5 6-8 Hyogo (JP).

(21) 国際出願番号:

PCT/JP02/11620

(22) 国際出願日:

2002 年 11 月 7 日 (07.11.2002)

(25) 国際出願の言語:

日本語

(26) 国際公開の言語:

日本語

(30) 優先権データ:

特願2001-341905 2001 年 11 月 7 日 (07.11.2001) JP

(74) 代理人: 吉武 賢次, 外 (YOSHITAKE, Kenji et al.); 〒100-0005 東京都 千代田区 丸の内三丁目 2 番 3 号 富士ビル 3 2 3 号 協和特許法律事務所 Tokyo (JP).

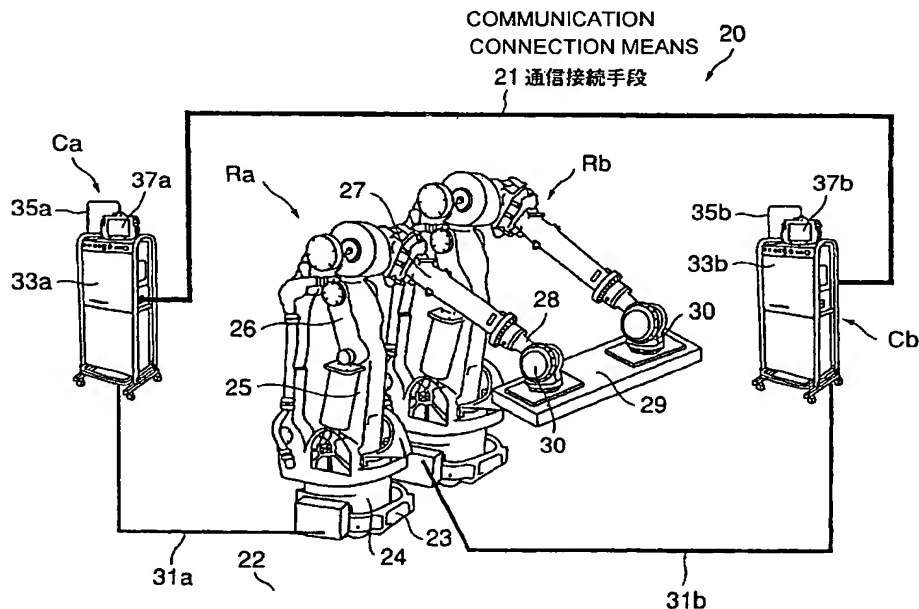
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 川崎重工業株式会社 (KAWASAKI JUKOGYO KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒650-8670 兵庫県 神戸市 中央区 東川崎町 三丁目 1 番 1 号 Hyogo (JP).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,

[続葉有]

(54) Title: ROBOT COLLABORATION CONTROL SYSTEM

(54) 発明の名称: ロボットの協調制御システム



(57) Abstract: A robot collaboration control system includes communication means (21) constituting a network by connecting a plurality of control devices (Ca, Cb) for controlling the operation of each of a plurality of robots (Ra, Rb) in a communicable manner, input means (37a, 37b) provided on each of

[続葉有]



DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), OAPI 特

許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正書受領の際には再公開される。

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

the control devices for inputting operation instructions for each robot, and timing generating means (69a, 69b). Each of the control devices is set to an independent function execution mode, a master function execution mode, or a slave function execution mode. Among the plurality of control devices, the control device (Ca) which is to perform master operation is set to the master function execution mode and the remaining control device (Cb) is set to the slave function execution mode. While correcting the minimum interrupt cycle (Ts(b)) of the slave side control device (Cb), the control time (ta1, ta2, ta3) of the master robot (Ra) by the master side control device is delayed by a predetermined time (T) so as to perform collaborating operation. Thus, it is possible to always maintain a plurality of robots in a synchronized state, thereby preventing a disagreement between operations of the robots.

(57) 要約:

本発明は、複数のロボット (Ra, Rb) の動作を個別に制御する複数の制御装置 (Ca, Cb) を相互に通信可能に接続してネットワークを構成する通信接続手段 (21) と、各制御装置毎に設けられ、各ロボットの動作指令を入力する入力手段 (37a, 37b) と、タイミング発生手段 (69a, 69b) と、を備える。各制御装置は、単独機能実行モード、マスタ機能実行モードおよびスレーブ機能実行モードのいずれか1つに選択的に設定され、複数の制御装置のうちでマスタ動作させるべき制御装置 (Ca) をマスタ機能実行モードに設定し、残余の制御装置 (Cb) はスレーブ機能実行モードに設定して、スレーブ側制御装置 (Cb) の最小割込み周期 (Ts(b)) を修正しながら、マスタ側制御装置 (Ca) のマスタロボット (Ra) への制御時刻 (ta11, ta12, ta13) を予め定める時間 (T) だけ遅延させて、協調動作させる。これにより、複数の制御装置を常に同期させた状態に維持して、各ロボットの動作のずれを防止できる。

明 細 書

ロボットの協調制御システム

技 術 分 野

本発明は、複数のロボットのそれぞれに設けられるロボットコントローラとも呼ばれる制御装置を、通信ネットワークによって接続し、各ロボットを協調動作させるロボットの協調制御システムに関する。

背 景 技 術

従来から、ワークが重量物または大型物である場合、複数台のロボットによって、ワークを確実に把持した状態を維持しながら、予め設定された出発点から到達点にわたる複数の教示点および各教示点間の補間点を経て、正確にかつ安定して搬送する協調動作を実現するために、各ロボットを協調制御する協調制御システムが採用されている。

このような複数台のロボットを用いる協調制御システムにおいては、作業空間内におけるロボットの配置位置に応じた複数箇所でワークを把持することができるため、ワークが大型物であっても、安定した搬送が可能である。また、ワークが重量物であっても、複数のロボットにワークの重量が分散されるので、各ロボットの重量負荷および慣性負荷が少なく、搬送速度を大きくして搬送時間を短縮することができる。

前述の協調制御システムには、複数のロボットを1台の制御装置によって統括的に制御する「多：1」のシステムと、各ロボットに対応する制御装置が個別に設けられる「1：1」のシステムとがある。複数のロボットを1台の制御装置で統括的に制御する「多：1」のシステムでは、1台の制御装置によって複数台のロボットを制御しなければならないために、制御装置が特殊な構成となる。

これに対して、複数のロボットのそれぞれに制御装置を設けて各ロボットを個別に制御する「1：1」のシステムでは、1台のロボットを1台の制御装置によって制御するため、上記「多：1」のシステムのように特殊な構成を有する制御

装置を用いる必要がなく、汎用の制御装置を用いることができる。したがって「多：1」のシステムに比べて、協調制御用プログラムを導入して、容易に協調制御システムを実現することができ、実現容易性の点で優れている。

しかも、前記汎用の制御装置は、協調制御システムを構築せずに、単独で他の用途に用いることが可能であり、制御装置の購入コストを節約することができ、経済的であるという利点を有している。さらにまた、ロボット台数を自在に変更することができるため、システムの設計に際して自在に対応することができ、システム設計に対する自由度が高いという利点を有している。

さらに他の従来技術では、上記の複数のロボットに対して個別に制御装置を設ける「1：1」の個別協調制御システムにおいて、各ロボットについてプログラムを作成し、インタロックを用いて搬送動作を制御する個別制御システムと、複数のロボットのうちの1台をマスタロボットに設定し、マスタロボットを除く他のロボットは、前記マスタロボットに同期して追従するスレーブロボットに設定し、マスタロボットに対して実装されるソフトウェアプログラムによって、マスタロボットおよびスレーブロボットを協調制御して、ワークを搬送するマスタ／スレーブ協調制御システムとが知られている。

上記のマスタ／スレーブ協調制御システムでは、ワークの変更および搬送条件の変更などによってロボットの動作を変更する必要がある場合、マスタロボットに実装されるプログラムだけを変更すればよいので、プログラムの変更、作成および管理が容易であるという利点を有している。そのため、汎用ロボットコントローラによって実現される複数の制御装置のうちから1台のマスタ制御装置を選択して、残余の1または複数のスレーブ制御装置を協調動作させている。

このようなマスタ・スレーブ間で協調制御を行うシステムにおいては、バス結合または通信回線によって接続された各制御装置間でデータの送受信を行う場合、個々に独立して各ロボット毎に制御系を構成する各制御装置は、相互に同期させる必要がある。この同期をとるための手法としては、各制御装置間がバス結合され、かつ共有メモリ方式によって各制御装置間でデータの送受信を行う場合、共有メモリ上にフラグを設ける手法と、割り込みを利用し、割り込み処理内でイベントを発生させる手法とがある。

図 1 1 は、従来の技術のマスタ／スレーブ協調制御システムにおけるマスタロボットおよびスレーブロボットの各制御装置 A、B を同期させるためのソフトウェアプログラム上の構成の一部を示すブロック図である。この従来の技術は、共有メモリ方式によって各制御装置 A、B 間を同期させるために、マスタロボットを制御するマスタ側制御装置 A と、スレーブロボットを制御するスレーブ側制御装置 B とについて見ると、マスタ側制御装置 A の演算処理装置 2 は、スレーブ側制御装置 B の共有メモリ 3 のフラグ 4 に指令値を書き込み、スレーブ側制御装置 B の演算処理装置 5 は、共有メモリ 3 上のフラグ 4 に前記指令値が書き込まれるまで待機し、スレーブ側制御装置 B の演算処理装置 5 の演算処理動作が終了した後、フラグ 4 を監視するために、ポーリング動作に入り、非同期時に発生するイベントを処理することができるよう構成されている。

図 1 2 は、他の従来の技術のマスタ／スレーブ協調制御システムに用いられる割り込み方式によって各制御装置 A、B を同期させる手法を説明するためのブロック図である。各制御装置 A、B 間において、一方の制御装置 A の演算処理装置 1 1 からの割り込み指令を、通信回線 1 0 を介して他方の制御装置 B に入力されると、他方の制御装置 B において、割り込み処理手段 1 2 が起動し、この割り込み処理手段 1 2 内でイベントを発生させて、演算処理手段 1 3 を起動させる。この他方の制御装置 B の演算処理手段 1 3 は、前記イベント処理を終了すると、再びイベント待ち状態になる。

さらに他の従来の技術は、特開平 7-20915 号公報に示されている。この従来の技術では、協調動作の制御対象とされるアームを有する 2 台のロボットと、各ロボットを個別に制御する制御装置とを備え、各ロボットのうちで一方のロボットをマスタロボットとし、他方のロボットをスレーブロボットとして、協調制御するロボットの協調制御システムが開示されている。

各制御装置は、教示点データに基づいて補間計算を行い、マスタロボットのアームの移動すべき通過点を決定し、スレーブロボットのアームの次通過点は、マスタロボットのアームが次に移動すべき点と、運搬中のワークの状態などに対応する両アームの相対的な位置および姿勢関係とに基づいて、複数の制御装置のうちのいずれか一方の制御装置内で決定される。マスタ側制御装置は、与えられた

教示内容に応じてアームの次通過点を決定し、そのデータをスレーブ側制御装置に送信し、スレーブロボットのアームの次通過点が決定される。これらの制御装置は、上記のように相互のデータを送受信するために通信回線によって接続される。また各制御装置は同期をとるために、各制御装置のCPU（中央演算処理装置）が内蔵しているクロック発振回路からのクロック信号を用い、協調動作するために必要なデータおよびプログラムは、すべてのマスタロボットおよびスレーブロボットに共通の制御装置のメモリに格納されている。

上記の図11および図12に示される各従来の技術では、他方の制御装置Bにとっては、フラグに対するポーリングおよびイベント待ちなどの無駄な待ち時間が発生してしまうという問題を有する。また上記の特開平7-20915号公報に示される従来の技術では、マスタアームとスレーブアームとを協調動作させるために、各制御装置を同期させるにあたって、各制御装置の同期信号間の微小な差、送信周期と受信周期との微小な差の蓄積による制御周期のずれ、および通信回線による不可避免的な通信遅れなどを解消する具体的対策が採られていないため、複数の制御装置を常に同期させた状態に維持することができないという問題がある。さらに、ロボット毎に設けられる各制御手段にそれぞれ備えられる入力手段から動作指令を入力する手法、ロボット毎の入出力手段間の信号の送受信処理の手法、および各ロボットの相対位置の設定に誤差が生じたときの対処の仕方については、何ら考慮されていないため、實際上、協調制御システムを構築することは不可能である。

そこで、本発明の目的は、複数の制御装置間の同期ずれを解消し、各ロボットの協調動作のずれを防止することができるようにしたロボットの協調制御システムを提供することである。

発明の開示

本発明によるロボットの協調制御システムは、複数のロボットのそれぞれの動作を、予め定める最小割込み周期で発生されるタイミング信号に同期して、個別に制御する複数の制御装置と、各制御装置を、相互に通信可能に接続してネットワークを構成する通信接続手段と、各制御装置に設けられ、各ロボットの動作指

令を入力する入力手段と、各制御装置に設けられ、各ロボットの動作指令に応答して各ロボットを動作させるプログラムが記憶される記憶手段と、各制御装置に設けられ、前記最小割込み周期でタイミング信号を発生するタイミング信号発生手段と、を備え、各制御装置は、単独機能実行モード、マスタ機能実行モードおよびスレーブ機能実行モードのうちの少なくとも1つを、前記記憶手段に格納されたプログラムによって選択的に実行可能とされ、前記複数の制御装置のうちの1つが前記プログラムの実行によってマスタ機能実行モードに設定されたとき、前記複数の制御装置のうちの前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置を除く残余の制御装置のうち少なくとも1つが前記プログラムの実行によってスレーブ動作を実行するスレーブ機能実行モードに設定され、マスタ機能実行モードに設定された制御装置によって制御されるマスタロボットと、スレーブ機能実行モードに設定された制御装置によって制御されるスレーブロボットとは、協調動作することを特徴とする。

本発明においては、複数のロボットのそれぞれに制御装置が設けられ、各制御装置は、各ロボットの動作を、タイミング信号発生手段から予め定める最小割込み周期で発生されるタイミング信号に同期して、個別に制御する。各制御装置は、通信接続手段によって相互に通信可能に接続され、各制御装置間に通信ネットワークが構築される。各制御装置は、入力手段をそれぞれ備え、各ロボットの単独動作および協調動作を行う際に必要な教示データなどを入力することができる。また記憶手段には、各ロボット毎に予め定める動作指令に応答して各ロボットを動作させるプログラムが格納され、このプログラムの実行によって、各制御装置は、単独機能実行モード、マスタ機能実行モードおよびスレーブ機能実行モードのいずれかに選択的に設定され、1つの制御装置がマスタ機能実行モードに設定されると、残余の制御装置の全部または一部がスレーブ機能実行モードに設定される。

このように各制御装置は、プログラムによって単独機能実行モード、マスタ機能実行モードおよびスレーブ機能実行モードのいずれか1つを選択的に設定可能とされるので、各制御装置のうちでマスタ動作させるべきロボットの制御装置、スレーブ動作させるべきロボットの制御装置、および単独動作させるべきロボッ

トの制御装置をプログラム上に命令として記載しておくことによって、その選択された制御装置は、マスタ動作を実行するマスタ実行モードに設定される。また残余の制御装置のうちでスレーブ動作させるべき制御装置の一部または全部を選択、具体的にはプログラム上の命令として設定しておくことによって、その選択された制御装置は、スレーブ動作を実行するスレーブ実行モードに設定される。

このようにして各ロボットが実行する一連の作業のうちで、協調動作する行程については、各ロボットをマスタロボットとスレーブロボットとに設定して、前記通信接続手段を介して相互に通信し、高精度で同期させて協調動作させることができる。

また、好ましくは、前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置は、前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置が動作指令を送信した時刻 t_a から前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置が前記動作指令を受信して自己のロボットの制御を開始する時刻 t_b までの通信遅れ時間 ($t_b - t_a$) が、予め定める時間 T になるように、前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置の最小割込み周期 $T_s(b)$ を変化させる。

スレーブ機能実行モードの制御装置は、マスタ機能実行モードの制御装置が動作指令を送信した時刻 t_a から、スレーブ機能実行モードの制御装置が前記動作指令を受信して自己のロボットの制御を開始する時刻 t_b までの通信遅れ時間 ($t_b - t_a$) が予め定める時間 T となるように、最小割込み周期を変化させるので、スレーブ側制御装置が自己のロボットに対する制御を開始する時刻 t_b が、前記マスタ側制御装置がマスタ側制御装置に対して動作指令を送信した時刻 t_a に対して、前記予め定める時間 T よりも長くなる方向および予め定める時間 T よりも短くなる方向に大きくずれることが防がれる。これによってスレーブロボットのマスタロボットに対する動作上の時間的ずれを制限して、各ロボットを正確に協調動作させることが可能となる。

また、好ましくは、前記予め定める時間 T は、各制御装置の制御周期 W 以下に選ばれる。

前記予め定める時間 T が各制御装置の制御周期 W 以下に選ばれるので、マスタ側制御装置から動作指令が送信される時刻 t_a から、スレーブ側制御装置によっ

て受信されて、このスレーブ側制御装置が自己のロボットの制御を開始する時刻 t_b までの時間 ($t_b - t_a$) が、制御周期 W を超えてしまうことが防がれる。これによってスレーブ側制御装置は、スレーブ側制御装置の 1 制御周期 W の時間内に、マスタ側制御装置から複数の動作指令を受信してしまうという不具合の発生を確実に防止し、マスタロボットとスレーブロボットとを高精度で協調動作させることが可能となる。

また、好ましくは、前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置は、自己のロボットへの指令を、前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置に対する前記通信遅れ時間 ($t_b - t_a$) だけ遅延させて送信する。

マスタ機能実行モードの制御装置が指令を送信して、これをスレーブ機能実行モードの制御装置が受信するまでには、通信による遅れ時間 ($t_b - t_a$) が存在し、マスタロボットとスレーブロボットとの間には動作上のずれが発生する。これを防止するために、マスタ機能実行モードの制御装置が制御するロボットに対する指令を、スレーブ機能実行モードの制御装置の通信遅れ時間 ($t_b - t_a$) だけ遅延させて送信することによって、システム全体の設定を変更せずにマスタロボットに対するスレーブロボットの動作の遅れを防止し、各ロボットを高精度で同期させて、協調動作させることができる。

また、好ましくは、前記協調動作において、前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置が前記入力手段から動作指令を入力されたとき、その動作指令は、前記通信接続手段を介して前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置に入力され、前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置は、前記通信接続手段を介して入力された前記動作指令に応答して制御動作を実行する。

スレーブ機能実行モードの制御装置は、入力手段から動作指令が入力されると、この動作指令は、通信接続手段を介してマスタ機能実行モードの制御装置に入力される。このマスタ機能実行モードの制御装置は、通信接続手段を介して入力された動作指令に応答して制御動作を実行し、こうしてスレーブ側制御装置からの動作指令の入力によって、マスタロボットを制御することができる。したがってオペレータは、マスタ側制御装置からだけではなく、スレーブ側制御装置側からも動作指令を入力して、場所的にスレーブロボットから離れた位置に設置されて

いるマスタロボットの動作を設定することができ、したがって協調制御システム全体を操作者の希望する場所から操作することが可能となり、操作上の利便性が向上される。

また、好ましくは、各制御装置に入出力装置が設けられ、協調動作中は、前記複数の制御装置のうちの前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置と、前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置とは、前記通信接続手段を介して、前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置が、前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置の入出力装置を使用して信号を入出力する。

通常、各ロボットを単独で動作させる場合には、エンドエフェクタなどの外部機器の操作に使用される入出力装置（略称 I O）は、各制御装置で動作するプログラムによってロボットに同期して制御される。

これに対して協調動作時においては、マスタの制御装置で動作するプログラムによって、マスタ及びスレーブの両方のロボットの動作が制御される。この場合、マスタの入出力装置については、マスタの制御装置で動作するプログラムによってロボットの動作に同期して制御できる。しかしながら、スレーブの入出力装置については、スレーブの制御装置ではプログラムが動作していないためにロボットの動作に同期して制御することができない。

この問題を解決するために、従来は、スレーブで制御すべき周辺機器についても、マスタの入出力装置によって制御できるようにしていた。

しかしながら、この従来方式では、信号の配線が複雑化するという問題があった。さらに、スレーブのロボットを単独でしようとした場合に、スレーブの制御装置のプログラムだけでは入出力装置を制御することができなくなってしまうという問題があった。

そこで、本発明においては、協調動作時にマスタの制御装置で実行するプログラムの中に、スレーブロボットの入出力装置に対する命令を記述しておき、通信によってその命令をスレーブの制御装置に伝達し、スレーブの制御装置でこれを実行して、スレーブの入出力装置を制御するようにした。つまり、本発明においては、スレーブの制御装置によって制御されるロボットに接続されたエンドエフェクタなどの外部機器の操作は、スレーブの制御手段の入出力装置（略称 I O）

を用いて行なわれる。これにより、上述した従来の方式をとらなくても、協調動作時においてマスタ及びスレーブの入出力装置を制御することができる。

また、好ましくは、各制御装置は、協調動作中に各制御装置の協調動作を停止するための緊急停止手段をそれぞれ有し、各緊急停止手段のうちのいずれか1つから発生した緊急停止信号は、この緊急停止信号を発生した緊急停止手段が設けられた制御手段に入力されるとともに、残余の制御手段に前記通信接続手段を介して入力され、全てのロボットの動作を停止させる。

各制御装置には緊急停止手段が備えられるので、どの位置のロボットからでも、異常が発生したときに、前記緊急停止手段を用いて各ロボットの一部または全体を緊急停止させることができ、これによって安全性が向上される。

また、好ましくは、各制御装置には、各ロボットの座標系が設定され、各ロボットのアームの先端部に寸法が既知である位置決め用ツールを着脱可能に設け、相互に隣接する各ロボットの位置決め用ツールの先端部を、少なくとも3点で突き合わせて同一位置に配置することによって、各ロボット用の座標変換行列を求め、この座標変換行列を用いて前記協調動作を実行する。

マスタ座標系に設定された共通な3点を結ぶ仮想フレームを基準にして協調動作するので、各制御装置は、各ロボットの位置および姿勢、さらには位置および姿勢のずれを、常に共通な座標系上で各ロボットが相対的位置を正確に認識可能とし、各ロボットのうちで、いずれのロボットをマスタとして設定しかつスレーブとして設定しても、1つの座標系内で協調動作を高精度で制御することができる。

また、好ましくは、前記協調動作において、前記スレーブ機能実行モードに設定されているロボットの前記マスタ機能実行モードに設定されているロボットに対する相対位置は、教示された動作開始点での相対位置関係と、教示された動作終了点での相対位置関係とを満たすように補間する。

マスタおよびスレーブの各ロボット間の相対位置関係において、マスタロボットとスレーブロボットとが実際の相対位置関係と設定された相対位置変換行列との間にずれがある場合、ツールの寸法に誤差がある場合、ロボットリンク長のばらつきがある場合、ゼロインク精度とも呼ばれるロボットの基準位置への設置精

度自体にばらつきがある場合、ならびに負荷によるロボットアームのたわみの影響によって、相対的な位置および姿勢関係を一定に保つように制御しても、実際の位置および姿勢関係が一定に保たれない場合などの相対位置がずれる原因が存在しても、上記のようにマスタ機能実行モードに設定されたロボットの教示位置の他に、スレーブ機能実行モードに設定されるロボットの位置をも教示することによって、相対位置および姿勢を変更しながらスレーブロボットをマスタロボットに追従させて協調動作させることが可能となる。これによってマスタおよびスレーブの各ロボットの相対位置および姿勢のずれが時間経過とともに拡大することが防がれ、相対位置および姿勢関係を高精度に維持しながら、所定の動作を継続的に実行することができる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の実施の一形態のロボットの協調制御システム20の全体の構成を示す系統図である。

図2は、各制御装置Ca、Cbの構成を示すブロック図である。

図3は、各制御装置Ca、Cbのソフトウェア上の構成を示すブロック図である。

図4は、各制御装置Ca、Cbを同期させるためのソフトウェアプログラムの構成を示す簡略化したブロック図である。

図5は、各ロボットRa、Rb間の相対位置の計測および設定の手順を説明するための図である。

図6は、各ロボットRa、Rb間の相対位置の計測および設定を行う際に用いられる突合せ用ツール90を示す側面図である。

図7は、3点突合せによる各ロボットRa、Rb間座標系の校正手順を説明するための図である。

図8は、マスタロボットの動作途中点Miに対応するスレーブロボットの動作途中点Siの算出方法を説明するための図である。

図9は、協調動作部位を教示する手順を説明するための各ロボットRa、Rbのアーム先端部分94a、94bの移動経路を示す斜視図である。

図10は、図9に示される各教示点に対応してマスタロボットおよびスレーブロボットを協調動作させるための協調動作プログラムの一例を示す図である。

図11は、従来の技術のロボットの協調制御システムのマスタロボットおよびスレーブロボットの各制御装置を同期させるためのソフトウェアプログラム上の構成の一部を示すブロック図である。

図12は、他の従来の技術の協調制御システムに用いられる割込み方式によって各制御装置を同期させるソフトウェアプログラム上の手法を説明するためのブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

図1に示した本発明の実施の一形態としてのロボットの協調制御システム（以下、単に「協調制御システム」と略記する場合がある）20は、複数台（本実施の形態では2台）のロボットR_a、R_bと、各ロボットR_a、R_bを相互に個別に独立して制御する2台の制御装置C_a、C_bと、各制御装置C_a、C_bを相互に通信可能に接続する通信接続手段21とを含む。

各ロボットR_a、R_bは、一例として述べると、工場内の所定の作業ステージの略水平な床22上に相互に間隔をあけて設置される基台23上に、旋回体24が設けられ、旋回体24には複数のアーム25、26、27が各軸まわりに角変位可能に設けられ、最も遊端側のアームの先端部には手首28が設けられ、この手首28にはワーク29を着脱可能に把持するハンド30が設けられる6軸の多関節ロボットによってそれぞれ実現される。

各制御装置C_a、C_bは、ロボットコントローラとも呼ばれ、相互に前記通信接続手段21によって接続されて、通信ネットワークを構成する。これらの制御装置C_a、C_bは、各ロボットR_a、R_bにライン31a、31bによってそれぞれ接続される制御装置本体33a、33bと、ティーチペンダントとも呼ばれ、各制御装置本体33a、33bにライン35a、35bによって接続される教示入力手段37a、37bと有する。

前記通信接続手段21は、例えばイーサネット（Ethernet）によって実現される。本実施の形態において「イーサネット」とは、米国電気電子学会（略称IEEE

; Institute of Electrical and Electronic Engineers) および国際標準化機構 (略称IOS; International Organization For Standardization) によって、IEE E802.3およびISO8802-3として標準化されたLAN (Local Area Network) をいう。

図2は、各制御装置Ca, Cbの構成を示すブロック図である。上記の各制御装置Ca, Cbには、各ロボットRa, Rbにそれぞれ備えられる図示しないサーボモータを駆動するためのサーボ駆動手段41a, 41b、パワーシーケンス回路42a, 42b、各ロボットRa, Rbに動作指令を入力するための操作パネル43a, 43b、中央演算処理装置 (略称CPU) によって実現される制御手段44a, 44b、メモリ45a, 45b、前記教示入力手段37a, 37b、教示入力手段用インターフェイス回路46a, 46b、パーソナルコンピュータ用インターフェイス回路 (以下、「PC用インターフェイス回路」と略記する) 47a, 47b、信号入出力回路48a, 48b、および通信制御手段49a, 49bを含む。前記遠隔制御装置用インターフェイス回路47a, 47bには、パーソナルコンピュータ (以下、「PC」と略記する場合がある) 53a, 53bが接続される。

前記パワーシーケンス回路42a, 42b、メモリ45a, 45b、教示入力手段用インターフェイス回路46a, 46b、PC用インターフェイス回路47a, 47b、信号入出力回路48a, 48b、および通信制御手段49a, 49bは、バスライン50a, 50bによって相互に接続される。各操作パネル43a, 43bには、各ロボットRa, Rbの動作を停止するための停止指令を入力するための停止スイッチSW1, SW2と、緊急停止スイッチSW5, SW6とが設けられる。また、信号入出力回路48a, 48bには、ハンド開閉検出スイッチSW3, SW4が接続される。

前記通信接続手段21は、ハブ (HUB) 51、各制御装置Ca, Cbに設けられる通信制御手段49a, 49b、および通信ケーブル52a, 52bを含む。各通信ケーブル52a, 52bは、各通信制御手段49a, 49bとハブ51とをそれぞれ接続し、通信ネットワークを構成する。

図3は、各制御装置Ca, Cbのソフトウェア上の構成を示すブロック図である。各制御装置Ca, Cbは、各メモリ45a, 45bにそれぞれ格納されるプ

プログラムを実行するために、プログラム格納部 61 a, 61 b、プログラム実行解釈部 62 a, 62 b、スレーブ指令値生成部 63 a, 63 b、動作指令値生成部 64 a, 64 b、指令値送信部 65 a, 65 b、指令値遅延部 66 a, 66 b、指令値受信部 67 a, 67 b、割込み処理部 68 a, 68 b、クロック発生部 69 a, 69 b、および信号経路切換え部 71 a, 71 bを含む。

各制御装置 C a, C b は、前記メモリ 45 a, 45 b に格納されるプログラムによって、単独機能実行モード、マスタ機能実行モード、およびスレーブ機能実行モードのいずれかにそれぞれ設定され、2 台の制御装置 C a, C b のいずれか一方がマスタ機能実行モードに設定されると、2 台の制御装置 C a, C b のいずれか他方はスレーブ機能実行モードに設定され、各制御装置 C a, C b によって制御される各ロボット R a, R b を協調動作させることができるように構成される。

図 4 は、各制御装置 C a, C b の同期処理機能を説明するための図である。各制御装置 C a, C b は、同様な同期処理機能を有し、便宜上、マスタ機能実行モードに設定された一方の制御装置 C a を送信側とし、スレーブ機能実行モードに設定された他方の制御装置 C b を受信側として説明する。一方の制御装置 C a から所定の制御周期 W で時刻 t_{a1} , t_{a2} , t_{a3} , ... 毎に送信された指令信号は、通信接続手段 21 を介して他方の制御装置 C b に前回のスレーブロボット R b への制御時刻 t_{b0} , t_{b1} , t_{b2} ... から所定時間 Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 , ... 経過後の各時刻 $(t_{b0} + \Delta t_1)$, $(t_{b1} + \Delta t_2)$, $(t_{b2} + \Delta t_3)$, ... において時系列的に受信される。

このようなマスタ側制御装置 C a からスレーブ側制御装置 C b への動作指令の通信接続手段 21 を介する送信では、各制御装置 C a, C b の制御手段 44 a, 44 b (略称 CPU) に内蔵される水晶発振器の個体差による発振周波数の微小な誤差に起因する受信時刻 $(t_{b0} + \Delta t_1)$, $(t_{b1} + \Delta t_2)$, $(t_{b2} + \Delta t_3)$, ... の送信時刻 t_{a1} , t_{a2} , t_{a3} ... に対する第 1 の通信遅れ時間、および前記通信接続手段 21 を介することによる通信遅れ時間とスレーブ側制御装置 C b がマスタ側制御装置 C a からの動作指令 1, 2, 3, ... を受信時刻 $(t_{b0} + \Delta t_1)$, $(t_{b1} + \Delta t_2)$, $(t_{b2} + \Delta t_3)$, ... で受信して

からスレーブロボットR bの制御を開始する制御時刻 t_{b1} 、 t_{b2} 、 t_{b3} 、
…までのタイムラグによる第2の通信遅れ時間が存在する。このため、前記一方の制御装置C aによって制御されるマスタロボットR aの動作に対して、他方の制御装置C bによって制御されるスレーブロボットR bの動作のずれが発生し、同一時刻における各ロボットR a、R b間の相対位置のずれは、作業精度上、無視できなくなってしまう。

上記第1の通信遅れ時間は、図4において、マスタ側（送信側）制御装置C aが送信時刻 t_{a1} で指令1を送信すると、送信された指令1はスレーブ側（受信側）制御装置C bに受信時刻 $(t_{b0} + \Delta t_1)$ で受信される。この受信時刻 $(t_{b0} + \Delta t_1)$ は、スレーブ側制御装置C bが、自己の制御対象であるロボットR bに対する前回の制御時刻 t_{b0} から所定時間 Δt_1 が経過した時刻であり、スレーブ側制御装置C bの最小割込み周期 $T_s(b)$ を4カウント目のタイミング信号の発振時刻で受信している。

次に、1制御周期が経過した後の時刻 t_{a2} で、マスタ側制御装置C aが指令2を送信し、この指令2はスレーブ側制御装置C bによって、次の受信時刻 $(t_{b1} + \Delta t_2)$ で受信されるが、上記のようにスレーブ側制御装置C bの制御手段44bに内臓される水晶発振器は、マスタ側制御装置C aの制御手段44aに内臓される水晶発振器に対して、各CPU毎に水晶発振器の個体差による発振周波数の微小な誤差が存在するため、最小割込み周期 $T_s(b)$ の1カウント目と2カウント目との間に到達した指令2は、前回の制御時刻 t_{b1} からみて2カウント目の時刻 $(t_{b1} + \Delta t_2)$ で受信される。このように前回の制御時刻 t_{b1} からタイミング信号が3カウント未満で指令2を受信したときには、受信側の制御装置C bは自己の最小割込み周期 $T_s(b)$ を短くし、受信時刻 $(t_{b1} + \Delta t_2)$ が3カウント目以上でかつ5カウント目以下になるように制御する。

また、マスタ側制御装置C aが時刻 t_{a3} で送信した指令3は、スレーブ側制御装置C bに前回の制御時刻 t_{b2} からみて5カウント目と6カウント目との間に到達しているため、6カウント目で受信され、スレーブ側制御装置C bはスレーブロボットR bに対して制御時刻 t_{b3} で制御する。したがってスレーブ側制御装置C bは、自己の最小割込み周期 $T_s(b)$ を長くして、受信時刻 $(t_{b2}$

+ Δt_3) が前回の制御時刻 t_{b2} から 3 カウント目以上でかつ 5 カウント目以下になるように制御する。

このようにしてスレーブ側制御装置 C b は、マスタ側制御装置 C a から各指令 1, 2, 3, ... が送信される時刻 t_{a1} , t_{a2} , t_{a3} , ... から、スレーブ側制御装置 C b によって受信されて、このスレーブ側制御装置 C b が自己のロボット R a の制御を開始する時刻 t_{b1} , t_{b2} , t_{b3} , ... までの時間 ($t_{b1} - t_{a0}$), ($t_{b2} - t_{a1}$), ($t_{b3} - t_{a2}$), ... が、スレーブ側制御装置 C b の制御周期 W を超えてしまうことが防がれる。これによってスレーブ側制御装置 C b は、スレーブ側制御装置 C b の 1 制御周期 W 内に、マスタ側制御装置 C a から複数の動作指令を受信してしまい、あるいは 1 制御周期 W 内に動作指令が受信されないという不具合の発生を確実に防止し、マスタロボットとスレーブロボットとを高精度で協調動作させることができる。

さらに、マスタ側制御装置 C a とスレーブ側制御装置 C b とを完全に同期させるためには、上記通信接続手段 21 を介することによる通信遅れ時間とスレーブ側制御装置 C b がマスタ側制御装置 C a からの動作指令 1, 2, 3, ... を受信時刻 ($t_{b0} + \Delta t_1$), ($t_{b1} + \Delta t_2$), ($t_{b2} + \Delta t_3$), ... で受信してからスレーブロボット R b の制御を開始する制御時刻 t_{b1} , t_{b2} , t_{b3} , ... までのタイムラグによる第 2 の通信遅れを解消する必要がある。そこで、第 1 の通信遅れを解消するために、上記のように制御されるスレーブ側 (または受信側) 制御装置 C b の最小割込み周期 $T_s(b)$ の n 倍 (たとえば $n=8$) が前記制御周期 W に相当するとしたとき、マスタ側の制御時刻 t_{a11} , t_{a12} , t_{a13} , ... をスレーブ側の制御時刻 t_{b1} , t_{b2} , t_{b3} , ... に一致させる必要がある。そのため、マスタ側制御装置 C a は、指令値遅延部 66 a によって、動作指令値生成部 64 a において生成された自己のロボット R a への制御時刻 t_{a11} , t_{a12} , t_{a13} , ... を、各送信時刻 t_{a1} , t_{a2} , t_{a3} , ... から予め定める時間 T だけ遅延させる。

図 5 は、各ロボット R a, R b 間の相対位置の計測および設定の手順を説明するための図であり、図 6 は各ロボット R a, R b 間の相対位置の計測および設定を行う際に用いられる突合せ用ツール 90 を示す側面図である。各ロボット R a,

R bの相対位置関係を維持しながら各ロボットR a, R bを協調動作させるために、各ロボットR a, R b間の相対位置関係を計測し、そのデータを双方の制御装置C a, C bに登録しておく必要があり、その手順について説明する。

各ロボットR a, R b間の相対位置を計測し、設定するにあたって、各ロボットR a, R bの手首28には、図6に示される突合せ用ツール90がそれぞれ設けられる。この突合せ用ツール90は、前記手首28にボルトなどのねじ部材によって着脱可能に取り付けられる円板状のフランジ部91と、フランジ部91の中心軸線上に垂直に固定される円形断面を成す棒状部92とを有する。前記棒状部92の先端部分は先細状に形成され、さらに具体的には、円錐台状に形成される。

この突合せツール90は、フランジ部91の手首28に接触する表面93から棒状部92の先端部分94までの前記中心軸線方向の長さLが正確にわかっている必要がある。この長さLは、各ロボットR a, R b間で突き合わせることできる長さ選ばれている。また前記突合せツール90は、円板状のフランジ部91に中心軸線上に棒状部92を垂直に固定した構成であるので、各先端部分94を突合せたときにその他の部位が相互に干渉せず、また周囲に対しても干渉することが防がれる。さらに前記棒状部92の先端部分94は、先細状とされるので、突合せが容易であり、しかも相互に突合せて接触させた状態でずれにくく、またずれた状態では被接触状態となって明確に認識されるため、正確に突合せすることができる。

図7は、3点突合せによる各ロボットR a, R b間座標系の校正手順を説明するための図である。3点突合せによる各ロボットR a, R bの相対位置の算出方法について説明する。他方のロボットR bの原点O bに関するベース座標系 $\Sigma Base B$ を、一方のロボットR aのベース座標系 $\Sigma Base A$ に変換するための変換行列 T_{AB} と定義する。ここで、変換行列 T_{AB} は次のような同時変換行列とする。

$$T_{AB} = \begin{bmatrix} n & o & a & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_1 & o_1 & a_1 & p_1 \\ n_2 & o_2 & a_2 & p_2 \\ n_3 & o_3 & a_3 & p_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

一直線上には、任意の3点について突合せを行い、これによって得られるロボットR_aベース座標系ΣBase AにおけるロボットR_aのツール先端点の位置と、ロボットR_bのベース座標系ΣBase BにおけるロボットR_bのツール先端点の位置とをそれぞれ、点(P_A, P_B)、点(Q_A, Q_B)、点(R_A, R_B)とする。

次に、点P_Aを原点とし、この点P_Aから点Q_Aに向かう線分をX軸正方向として、点R_AをXY平面(ただし、Y>0)に含むようなロボットR_aのベース座標系ΣBase AにおけるフレームをF_Aとする。

$$F_A = \begin{bmatrix} n_A & o_A & a_A & p_A \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

ここで、

$$n_A = \frac{\overrightarrow{Q_A O_A} - \overrightarrow{P_A O_A}}{|\overrightarrow{Q_A O_A} - \overrightarrow{P_A O_A}|} \quad (\text{単位ベクトル}) \quad \dots (3)$$

$$a_A = \frac{n_A \times (\overrightarrow{R_A O_A} - \overrightarrow{P_A O_A})}{|n_A \times (\overrightarrow{R_A O_A} - \overrightarrow{P_A O_A})|} \quad (\text{単位ベクトル}) \quad \dots (4)$$

$$o_A = a_A \times n_A \quad \dots (5)$$

$$p_A = \overrightarrow{P_A O_A} \quad \dots (6)$$

同様に、点P_Bを原点とし、この点P_Bが点Q_Bに向かう線分をX軸正方向として、点R_BをXY平面(ただし、Y>0)に含むようなロボットR_Bのベース座標系Σ

Base Bにおけるフレームを F_B とする。

$$F_B = \begin{bmatrix} n_B & o_B & a_B & p_B \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (7)$$

ここで、

$$n_B = \frac{\overrightarrow{Q_B O_B} - \overrightarrow{P_B Q_B}}{|\overrightarrow{Q_B O_B} - \overrightarrow{P_B Q_B}|} \quad (\text{単位ベクトル}) \quad \dots (8)$$

$$a_B = \frac{n_B \times (\overrightarrow{R_B O_B} - \overrightarrow{P_B O_B})}{|n_B \times (\overrightarrow{R_B O_B} - \overrightarrow{P_B O_B})|} \quad (\text{単位ベクトル}) \quad \dots (9)$$

$$o_B = a_B \times n_B \quad \dots (10)$$

$$p_B = \overrightarrow{P_B O_B} \quad \dots (11)$$

このとき、フレーム F_A 、 F_B と変換行列 T_{AB} の間には、次式が成り立つ。

$$F_A = T_{AB} F_B \quad \dots (12)$$

したがって、変換行列 T_{AB} は次式によって求められる。

$$T_{AB} = F_A \cdot F_B^{-1} \quad \dots (13)$$

このような変換行列 T_{AB} は、自己（添え字A側）から相手（添え字B側）への座標変換を行なう関数などとして、各制御装置Ca、Cbのメモリ45a、45bに格納される前記プログラムに記載されている。

図8は、マスタロボットの動作途中点Miに対応するスレーブロボットの動作途中点Siの算出方法を説明するための図である。まず、一方のロボットRaをマスタロボットとし、他方のロボットRbをスレーブロボットとしたとき、マスタロボットおよびスレーブロボットの共通座標系 $\Sigma 0$ において、マスタロボットRaの動作開始点がMs、動作終了点がMeで教示され、また前記共通座標系 $\Sigma 0$ においてスレーブロボットRbの動作開始点がSs、動作終了点がSeで教示されたとする。マスタロボットRaの教示点MsからMeへの移動するとき、マスタロボットRaの動作中間点Miに対応するスレーブロボットRbの動作中間点Siを求める。

マスタロボットRaの動作途中点Miは、パラメータsを用いて求められる。

このパラメータ s の値は、 $s = 1$ のとき、マスタロボット R_a が動作開始点 M_s に到達し、 $s = 0.0$ のとき動作終了点 M_e に到達するものとする。また、マスタロボット R_a が動作途中点 M_i にあるときのパラメータ s は s_i で表し、このときのスレーブロボット R_b の動作途中点を S_i とする。マスタロボット R_a の動作開始点 M_s からスレーブロボット R_b の動作開始点 S_s への変換行列を $T_{AB}(s)$ とし、マスタロボット R_a の動作終了点 M_e からスレーブロボット R_b の動作終了点への変換行列を $T_{AB}(e)$ とし、次式で表すものとする。

$$T_{AB}(s) = S_s \cdot M_s^{-1} \quad \dots (14)$$

$$T_{AB}(e) = S_e \cdot M_e^{-1} \quad \dots (15)$$

また上記の各変換行列 $T_{AB}(s)$ 、 $T_{AB}(e)$ を XYZ オイラー角で表記するとき、 $T_{AB}(s)$ は $(X_s, Y_s, Z_s, O_s, A_s, T_s)$ とし、 $T_{AB}(e)$ は $(X_e, Y_e, Z_e, O_e, A_e, T_e)$ として、マスタロボット R_a の動作途中点 M_i に対する変換行列 T_i のオイラー角表記を、次式によって求める。

$$X_i = X_e - (X_e - X_s) \cdot s \quad \dots (16)$$

$$Y_i = Y_e - (Y_e - Y_s) \cdot s \quad \dots (17)$$

$$Z_i = Z_e - (Z_e - Z_s) \cdot s \quad \dots (18)$$

$$O_i = O_e - (O_e - O_s) \cdot s \quad \dots (19)$$

$$A_i = A_e - (A_e - A_s) \cdot s \quad \dots (20)$$

$$T_i = T_e - (T_e - T_s) \cdot s \quad \dots (21)$$

これらの式 14 ~ 19 を変換行列 T_i と表記し、マスタロボット R_a の動作途中点 M_i に対するスレーブロボット R_b の動作途中点 S_i は、

$$S_i = T_i \cdot M_i \quad \dots (22)$$

によって求められる。

このようなマスタロボット R_a の動作途中点 M_i に対するスレーブロボット R_b の動作途中点 S_i の関係式は、各制御装置 C_a 、 C_b のメモリ 45a、45b にプログラムとして格納されており、後述するように、各ロボット R_a 、 R_b のうちで任意にマスタロボットおよびスレーブロボットを設定して、協調動作させることができるように構成されている。

図 9 は、協調動作部位を教示する手順を説明するための各ロボット R_a 、 R_b

のアーム先端部分 9 4 a, 9 4 b の移動経路を示す斜視図である。同図において実線はマスタロボットのアーム先端部分 9 4 a の移動経路を示し、破線はスレーブロボットのアーム先端部分 9 4 b の移動経路を示す。図 10 は、図 9 に示される各教示点に対応してマスタロボットおよびスレーブロボットを協調動作させるための協調動作プログラムの一例を示す図である。

次に、各協調動作のためのプログラムの作成および位置の教示を行う。このプログラムは、一方のロボット R a によって実行されるプログラム「.PROGRAM master()」と、他方のロボット R b によって実行されるプログラム「.PROGRAM slave()」とが作成される。

一方のロボット R a 側に設定されるプログラム「.PROGRAM master()」は、1 ~ 20 のステップを有し、図 9 の実線で示される動作目標位置 P m 0 から各目標位置 P m 1 ~ P m 9 を経て動作終了位置 P a 10 に至る動作を、一方のロボット R a に実行させるために、次のように構成される。

まず、ステップ 1 は、一方のロボット R a の各軸を動作開始位置 P m 0 へ移動させるための動作命令であり、「JMOVE #1c1#0」と入力される。「JMOVE」はロボットを指定した目標位置への各軸の補間動作における移動させるための命令である。「#1c1#0」は動作目標位置 P m 0 を指示する変数名である。

ステップ 2 は、動作開始位置 P m 0 から次の目標位置 P m 1 へ一方のロボット R a を移動させるための命令であり、「LMOVE #1c1#1」と入力される。「LMOVE」は直線動作を指示する予約語であり、「#1c1#1」は目標位置 P m 1 を指示する変数名である。

ステップ 3 は、前記ステップ 2 で指定した位置 P m 1 でハンド 30 を閉じさせるための命令であり、「CLOSE」と記載される。以上がマスタロボット R a の単独動作のプログラムである。

次に、ステップ 4 は、協調動作を宣言する命令であり、「MASTER」と記載される。この命令によって、一方のロボット R a がマスタロボットに設定され、他方のロボット R b 側でスレーブ宣言されて、協調動作が開始する。マスタ機能実行モードの制御装置 C a が指令を送信して、これをスレーブ機能実行モードの制御装置 C b が受信するまでには、通信による遅れが発生するが、スレーブ機能実行

モードの制御装置 C b の最小割込み周期 $T_s(b)$ を、マスタ機能実行モードの制御装置 C a からの指令がスレーブ機能実行モードの制御装置 C b に、たとえば上記のように 3 カウント未満で入力されたときには、最小割込み周期 $T_s(b)$ を短くし、5 カウントを超えて入力されたときには、最小割込み周期 $T_s(b)$ を長くするとともに、マスタ機能実行モードの制御装置 C a の自己のマスタロボット R a への制御時刻 t_{a11} , t_{a12} , t_{a13} , ... を、予め定める時間 T だけ遅延させて送信することによって、マスタロボット R a に対するスレーブロボット R b の動作の遅れを防止し、各ロボットを高精度で同期させて、協調動作させることができる。

ステップ 5 は、マスタロボット R a に対してハンド 30 を閉じるための命令であり、「SIGNAL 2」と記載される。

ステップ 6 は、スレーブロボット R b のハンド 30 を閉じるための命令であり、「SIGNAL 2:2」と記載される。

ステップ 7 は、各ロボット R a, R b を協調動作させながら次の目標位置 P_{m2} , P_{s2} へ移動させるための命令であり、「MLLMOVE #1c2#2,#1c2#2」と記載される。

ステップ 8 は、各ロボット R a, R b を次の目標位置 P_{m3} , P_{s3} へ移動させるための命令であり、「MLLMOVE #1c1#3,#1c2#3」と記載される。

ステップ 9 は、マスタロボット R a を次の指令を満足するまで待機させるための命令であり、「SWAIT 1001」と記載される。

ステップ 10 は、スレーブロボット R b を入出力回路 48 b に次の指令を入力するまで待機させるための命令であり、「SWAI 2:1001」と記載される。

ステップ 11 は、各ロボット R a, R b を次の目標位置 P_{m4} , P_{s4} へ移動させるための命令であり、「MLC1MOVE #1c1#4,#1c2#4」と記載される。

ステップ 12 は、各ロボット R a, R b を次の目標位置 P_{m5} , P_{s5} へ移動させるための命令であり、「MLC1MOVE #1c1#5,#1c2#5」と記載される。

ステップ 13 は、各ロボット R a, R b を次の目標位置 P_{m6} , P_{s6} へ移動させるための命令であり、「MLC2MOVE #1c1#6,#1c2#6」と記載される。

ステップ 14 は、各ロボット R a, R b を次の目標位置 P_{m7} , P_{s7} へ移動

させるための命令であり、「MLLMOVE #1c1#7,#1c2#7」と記載される。

ステップ15は、各ロボットR a, R bを次の目標位置P m 8, P s 8へ移動させるための命令であり、「MLLMOVE#1c1#8,#1c2#8」と記載される。

ステップ16は、マスタロボットR aの協調動作を解除するための命令であり、「ALONE」と記載される。

ステップ17は、一方のロボットR aのハンド30を開くための命令であり、「OPEN」と記載される。

ステップ18は、一方のロボットR aに対して、タイマが変数名「1002」で指示された状態を満足するまで待機させるための命令であり、「SWAIT 1002」と記載される。

ステップ19は、一方のロボットR aを変数名「#1c1#9」で指示される目標位置P m 9へ直線移動させるための命令であり、「LMOVE #1c1#9」と記載される。

ステップ20は、一方のロボットR aを動作終了位置P m 10へ移動させるための命令であり、「HOME」と記載される。

次に、他方のロボットR bに対して設定されるプログラムについて説明する。この他方のロボットR b用プログラム「.PRORAM slave()」は、1～10のステップを有し、図9の破線で示される動作目標位置P s 0から各位置P s 1～P s 9を経て動作終了位置P s 10に至る動作を、スレーブロボットR bに実行させるために、次のように構成される。

まず、ステップ1は、他方のロボットR aの各軸を動作目標位置P s 0へ移動させるための動作命令であり、「JMOVE #1c1#0」と入力される。「JMOVE」はロボットを指定した位置への補間動作における移動させるための命令である。「#1c1#0」は動作目標位置P s 0の座標である。

ステップ2は、動作開始位置P s 0から次の位置P s 1へ他方のロボットR bを移動させるための命令であり、「LMOVE #1c1#1」と記載される。「LMOVE」は直線動作命令であり、「#1c1#1」は次の位置P s 1の座標である。

ステップ3は、前記ステップ2で指定した位置P s 1でハンド30を閉じさせるための命令であり、「CLOSE」と記載される。以上がスレーブロボットの単独動作のプログラムである。

次に、ステップ4は、他方のロボットRbを変数名「1002」で指示される条件を満足するまで待機させるための命令であり、「SWAIT 1002」と記載される。

ステップ5は、自己がスレーブロボットとして動作することを宣言するための命令であり、「SLAVE」と記載される。このプログラムの実行時においては、スレーブロボットRbは、マスタロボットRa側からの各ステップ5～15の命令に応答して協調動作を行う。この協調動作時は、前述したように、他方のロボットRbはネットワーク通信接続手段21によって一方のロボットRaに接続されるので、制御周期のずれを修正しながら相互に正確に同期して協調動作させることができる。

ステップ6は、協調動作を解除し、単独動作に戻ったことを宣言するための命令であり、「ALONE」と記載される。

ステップ7は、他方のロボットRbのハンド30を開くための命令であり、「OPEN」と記載される。

ステップ8は、マスタロボットRaおよびスレーブロボットRbの双方に対して指令を個別に設定するための命令であり、「SIGNAL 2」と記載される。

ステップ9は、他方のロボットRbを変数名「#1c2#9」で指示される目標位置Ps9へ移動させるための命令であり、「LMOVE #1c2#9」と記載される。

ステップ10は、他方のロボットRbを動作終了位置Ps10へ移動させるための命令であり、「HOME」と記載される。

このようにして各ロボットが実行する一連の作業のうちで、協調動作する行程については、各ロボットをマスタロボットとスレーブロボットとに設定して、前記通信接続手段を介して相互に通信し、高精度で同期させて協調動作させることができる。

またスレーブ機能実行モードの制御装置Cbは、入力手段から動作指令を入力すると、この動作指令は、通信接続手段を介してマスタ機能実行モードの制御装置Caに入力される。このマスタ機能実行モードの制御装置Caは、入力した動作指令に応答して制御動作を実行し、こうしてスレーブ側制御装置Cbからの動作指令の入力によって、マスタロボットRaを制御することができる。したがってオペレータは、マスタ側制御装置Caからだけではなく、スレーブ側制御装置

C b側からも動作指令を入力して、場所的にスレーブロボットR bから離れた位置に設置されているマスタロボットR aの動作を設定することができ、したがって協調制御システム全体を操作者の希望する場所から操作することが可能となり、操作上の利便性が向上される。

さらにスレーブ機能実行モードの制御装置C bによって制御されるロボットR aに接続されたエンドエフェクタなどの外部機器の操作は、スレーブ機能実行モードに設定された制御装置C bの入出力回路（略称I O）4 8 bを用いて行なわれる。協調動作においては、マスタロボット側のメモリ4 5 aに記憶されたプログラムの動作命令にしたがって動作するため、スレーブロボットR bに接続された外部機器の制御は、マスタロボットR aの制御装置C aに設けられる入出力回路4 8 aを用いて行なわれ、そのために信号の配線が煩雑になり、スレーブロボットR bを単独でしようとした場合に、マスタロボットR aの信号の影響を受けてしまう。このような不具合は、上記のようにマスタロボットR aがスレーブ側制御装置C bの入出力回路4 8 aを用いることによって、回避することができる。

上述の実施の形態では、2台のロボットR a，R bに個別に設けられる2台の制御装置C a，C bを通信接続手段2 1によって接続した構成について述べたが、本発明の実施の他の形態では、3台以上のロボットに個別に設けられる制御装置を通信接続手段によって接続して協調制御する構成に対しても、本発明を好適に実施することができ、高精度で各制御装置を同期させて、協調動作させることができる。

請求の範囲

1. 複数のロボットのそれぞれの動作を、予め定める最小割込み周期で発生されるタイミング信号に同期して、個別に制御する複数の制御装置と、

各制御装置を、相互に通信可能に接続してネットワークを構成する通信接続手段と、

各制御装置に設けられ、各ロボットの動作指令を入力する入力手段と、

各制御装置に設けられ、各ロボットの動作指令に応答して各ロボットを動作させるプログラムが記憶される記憶手段と、

各制御装置に設けられ、前記最小割込み周期でタイミング信号を発生するタイミング信号発生手段と、を備え、

各制御装置は、単独機能実行モード、マスタ機能実行モードおよびスレーブ機能実行モードのうちの少なくとも1つを、前記記憶手段に格納されたプログラムによって選択的に実行可能とされ、

前記複数の制御装置のうちの1つが前記プログラムの実行によってマスタ機能実行モードに設定されたとき、前記複数の制御装置のうちの前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置を除く残余の制御装置のうち少なくとも1つが前記プログラムの実行によってスレーブ動作を実行するスレーブ機能実行モードに設定され、

マスタ機能実行モードに設定された制御装置によって制御されるマスタロボットと、スレーブ機能実行モードに設定された制御装置によって制御されるスレーブロボットとは、協調動作することを特徴とするロボットの協調制御システム。

2. 前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置は、前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置が動作指令を送信した時刻 (t_a) から前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置が前記動作指令を受信して自己のロボットの制御を開始する時刻 (t_b) までの通信遅れ時間 ($t_b - t_a$) が、予め定める時間 (T) になるように、前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置の最小割込み周期 ($T_s(b)$) を変化させることを特徴とする請求項1

記載のロボットの協調制御システム。

3. 前記予め定める時間 (T) は、各制御装置の制御周期 (W) 以下に選ばれることを特徴とする請求項 2 記載のロボットの協調制御システム。

4. 前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置は、自己のロボットへの指令を、前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置に対する前記通信遅れ時間 ($t_b - t_a$) だけ遅延させて送信することを特徴とする請求項 3 記載のロボットの協調制御システム。

5. 前記協調動作において、前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置が前記入力手段から動作指令を入力されたとき、その動作指令は、前記通信接続手段を介して前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置に入力され、前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置は、前記通信接続手段を介して入力された前記動作指令に応答して制御動作を実行することを特徴とする請求項 1～4 のいずれか一項に記載のロボットの協調制御システム。

6. 各制御装置に入出力装置が設けられ、協調動作中は、前記複数の制御装置のうちの前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置と、前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置とは、前記通信接続手段を介して、前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置が、前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置の入出力装置を使用して信号を入出力することを特徴とする請求項 1～5 のいずれか一項に記載のロボットの協調制御システム。

7. 各制御装置は、協調動作中に各制御装置の協調動作を停止するための緊急停止手段をそれぞれ有し、各緊急停止手段のうちのいずれか 1 つから発生した緊急停止信号は、この緊急停止信号を発生した緊急停止手段が設けられた制御手段に入力されるとともに、残余の制御手段に前記通信接続手段を介して入力され、全てのロボットの動作を停止させることを特徴とする請求項 1～6 のいずれか一

項に記載のロボットの協調制御システム。

8. 各制御装置には、各ロボットの座標系が設定され、各ロボットのアームの先端部に寸法が既知である位置決め用ツールを着脱可能に設け、相互に隣接する各ロボットの位置決め用ツールの先端部を、少なくとも3点で突き合わせて同一位置に配置することによって、各ロボット用の座標変換行列を求め、この座標変換行列を用いて前記協調動作を実行することを特徴とする請求項1～7のいずれか一項に記載のロボットの協調制御システム。

9. 前記協調動作において、前記スレーブ機能実行モードに設定されているロボットの前記マスタ機能実行モードに設定されているロボットに対する相対位置は、教示された動作開始点での相対位置関係と、教示された動作終了点での相対位置関係とを満たすように補間することを特徴とする請求項8に記載のロボットの協調制御システム。

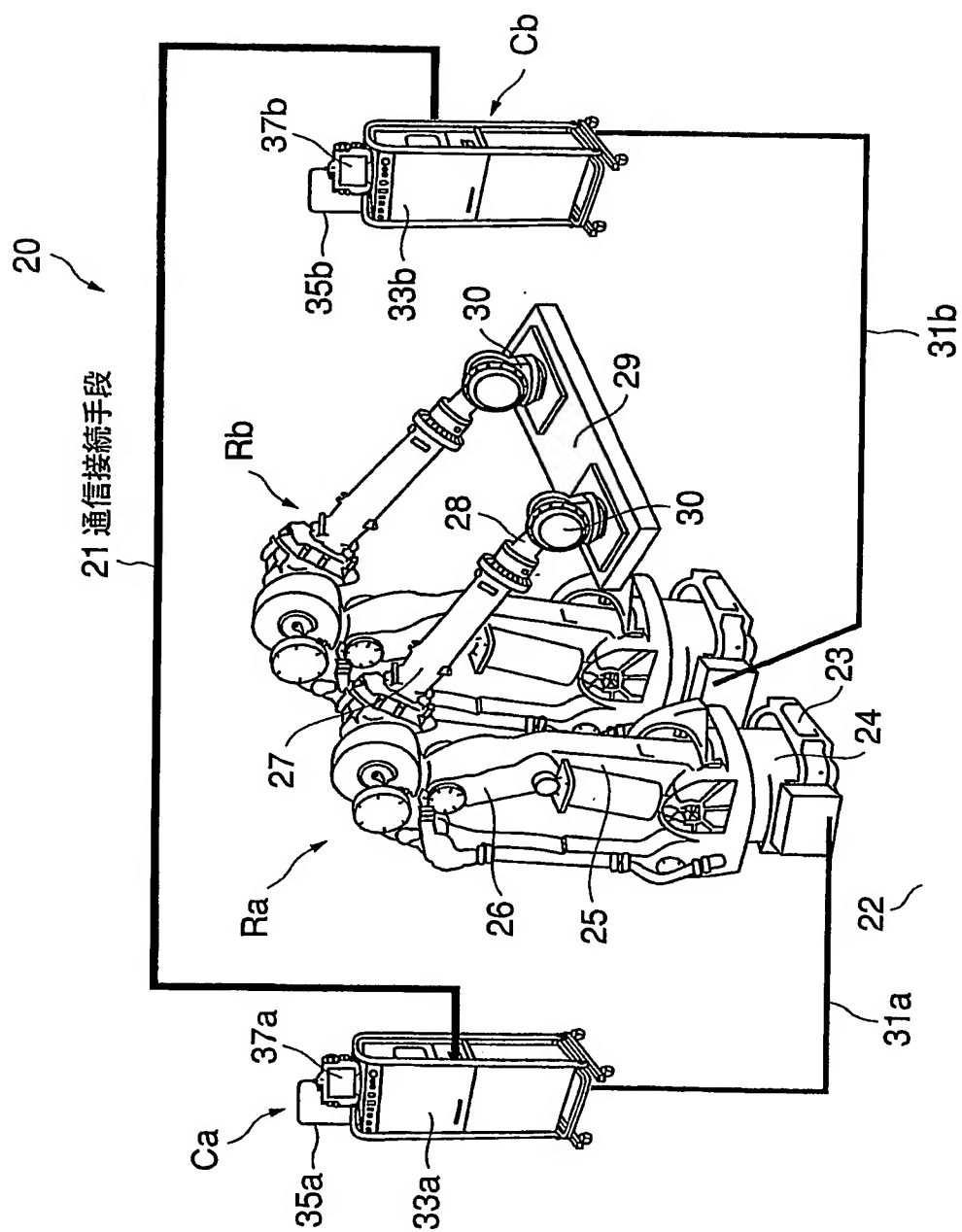


FIG. 1

2/9

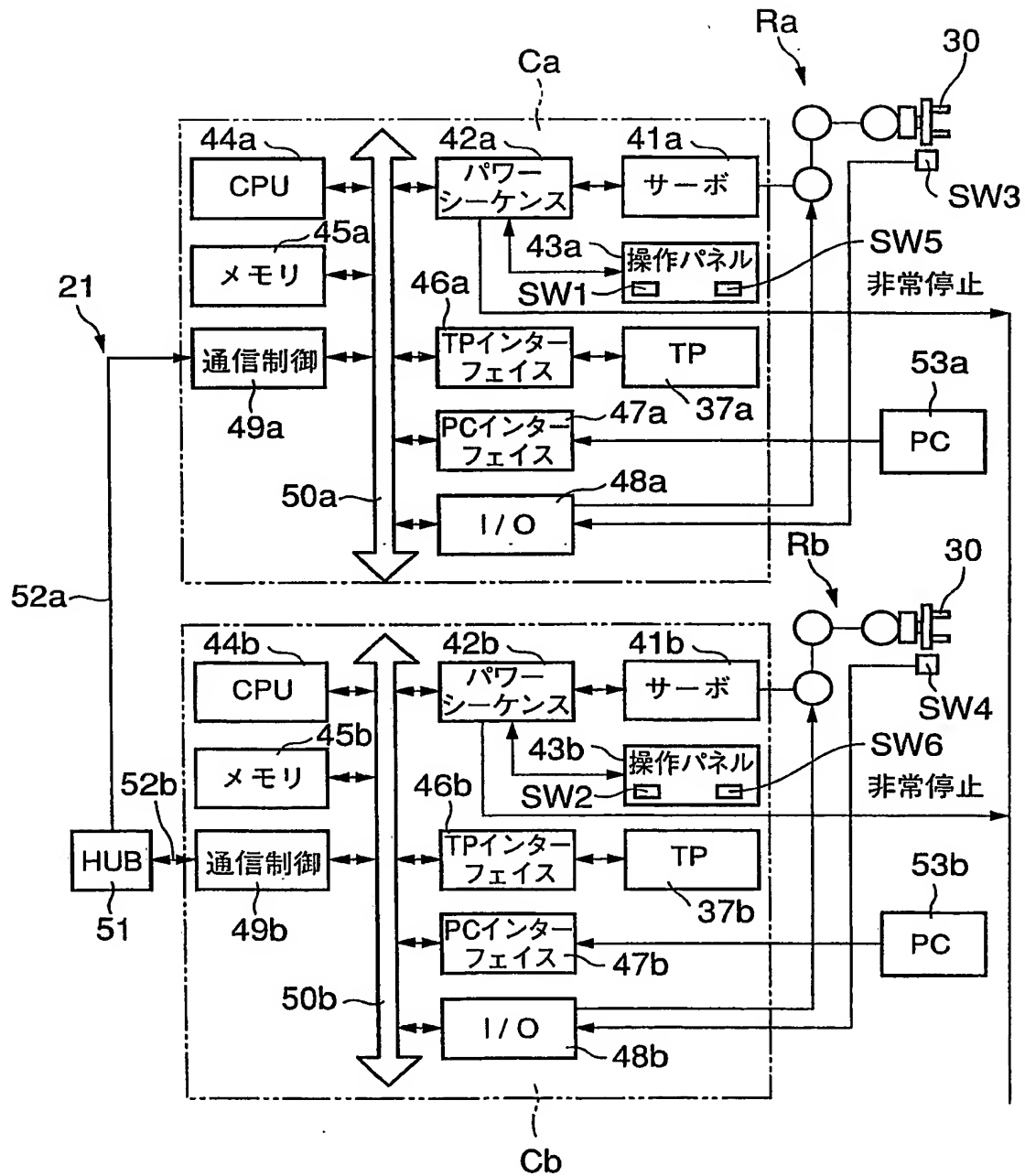


FIG.2

3/9

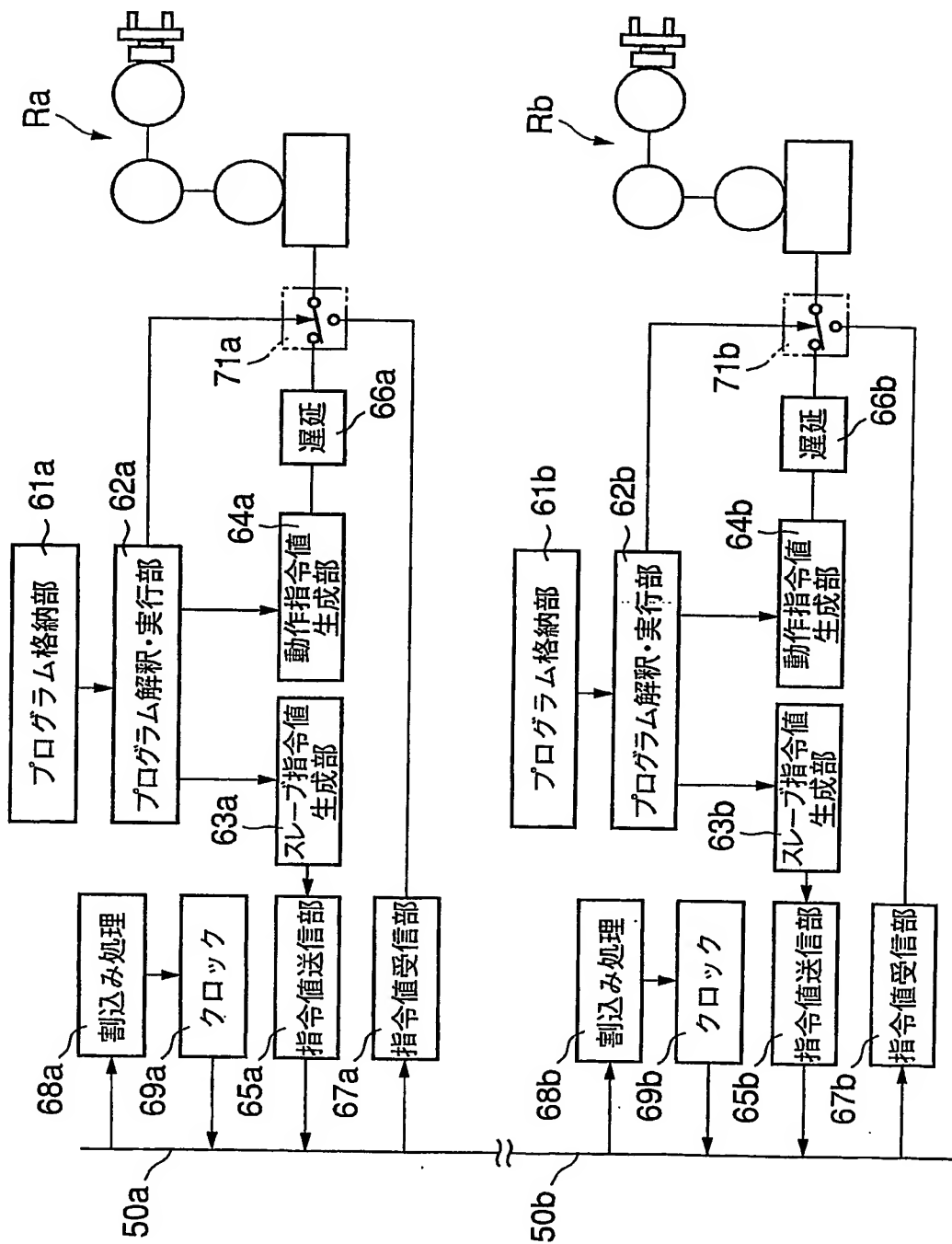


FIG.3

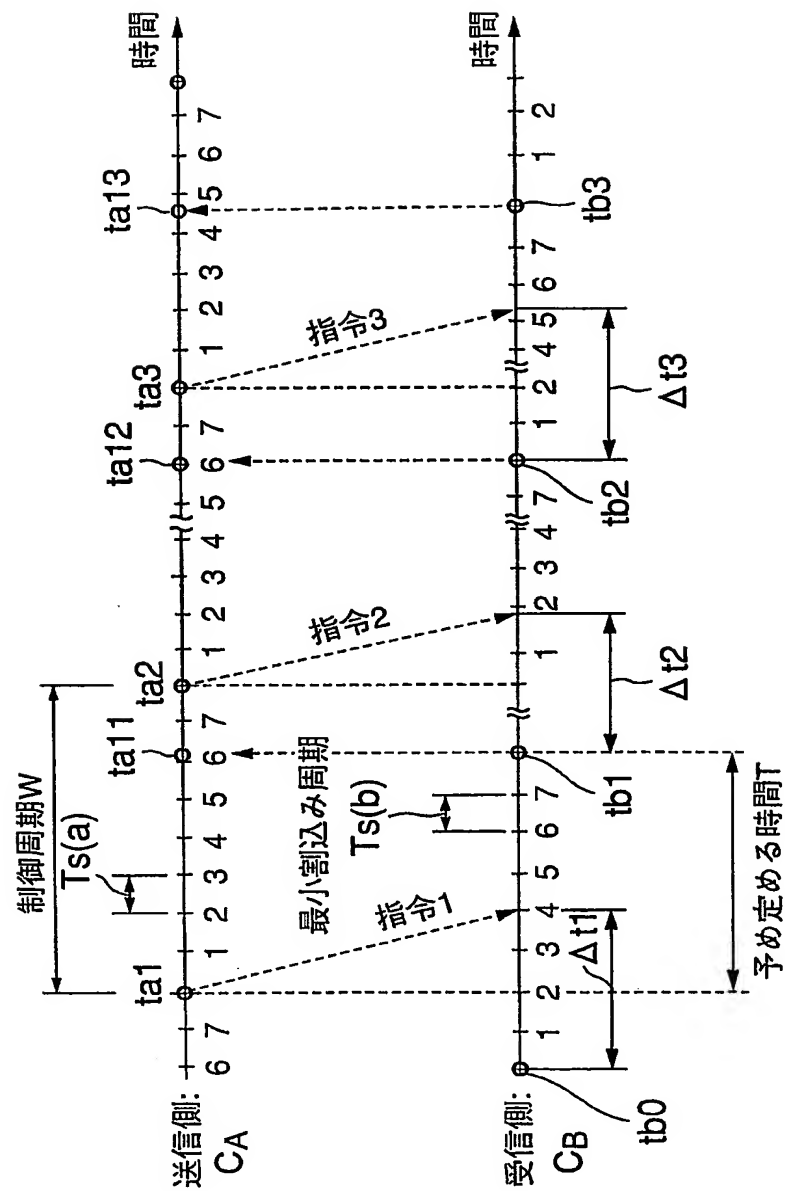


FIG.4

5/9

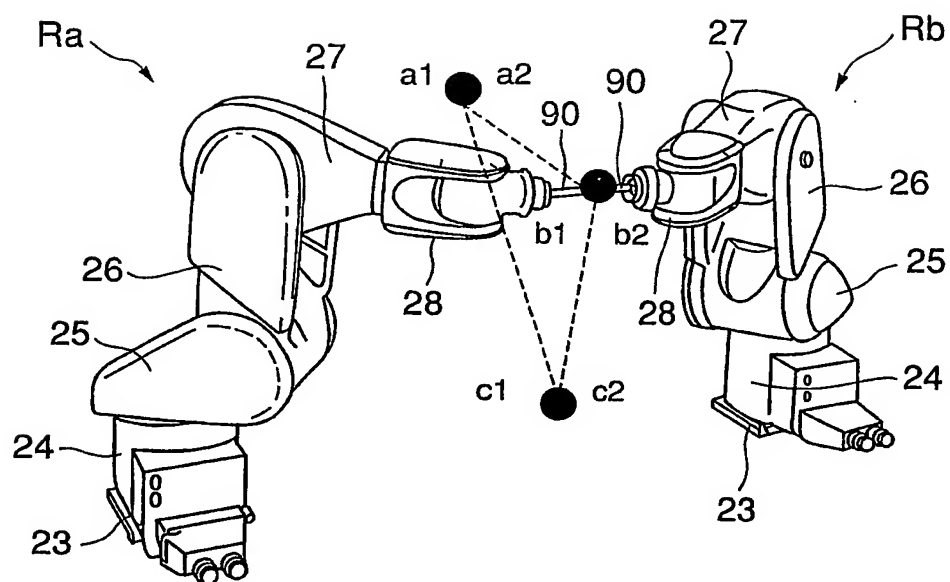


FIG. 5

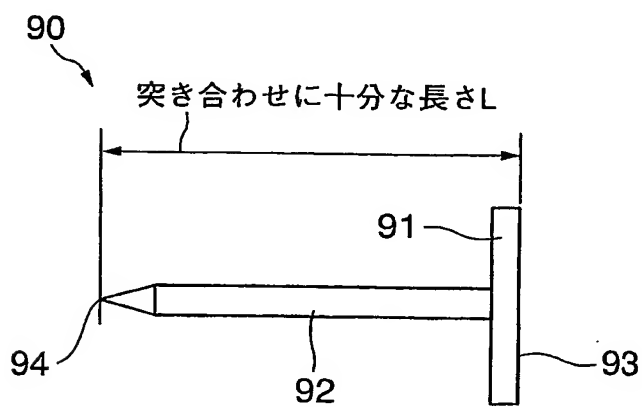


FIG. 6

6/9

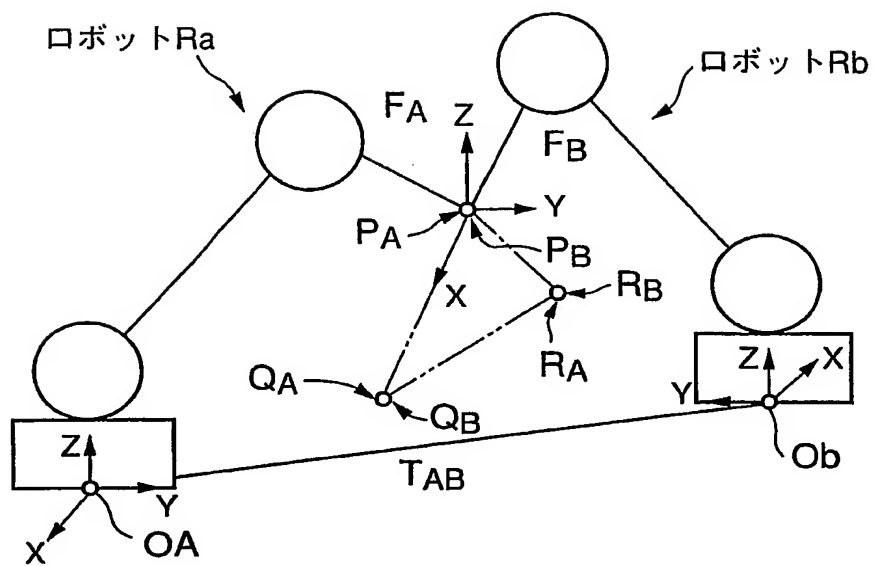


FIG. 7

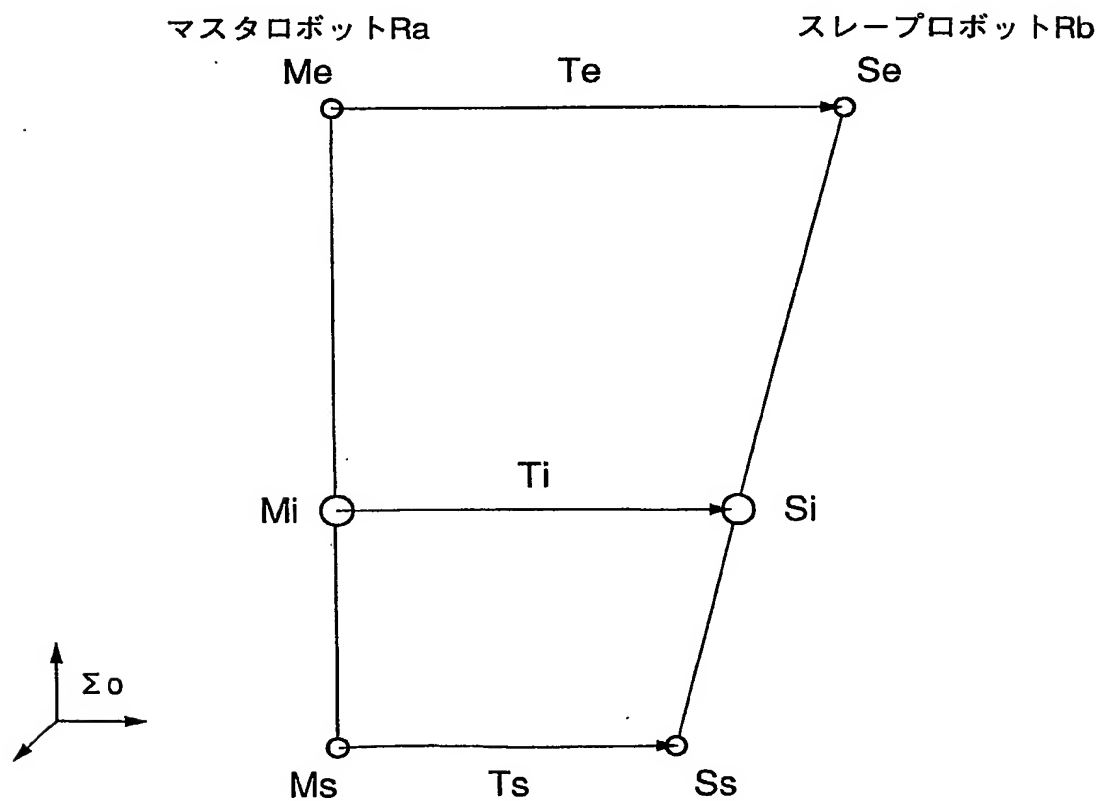


FIG. 8

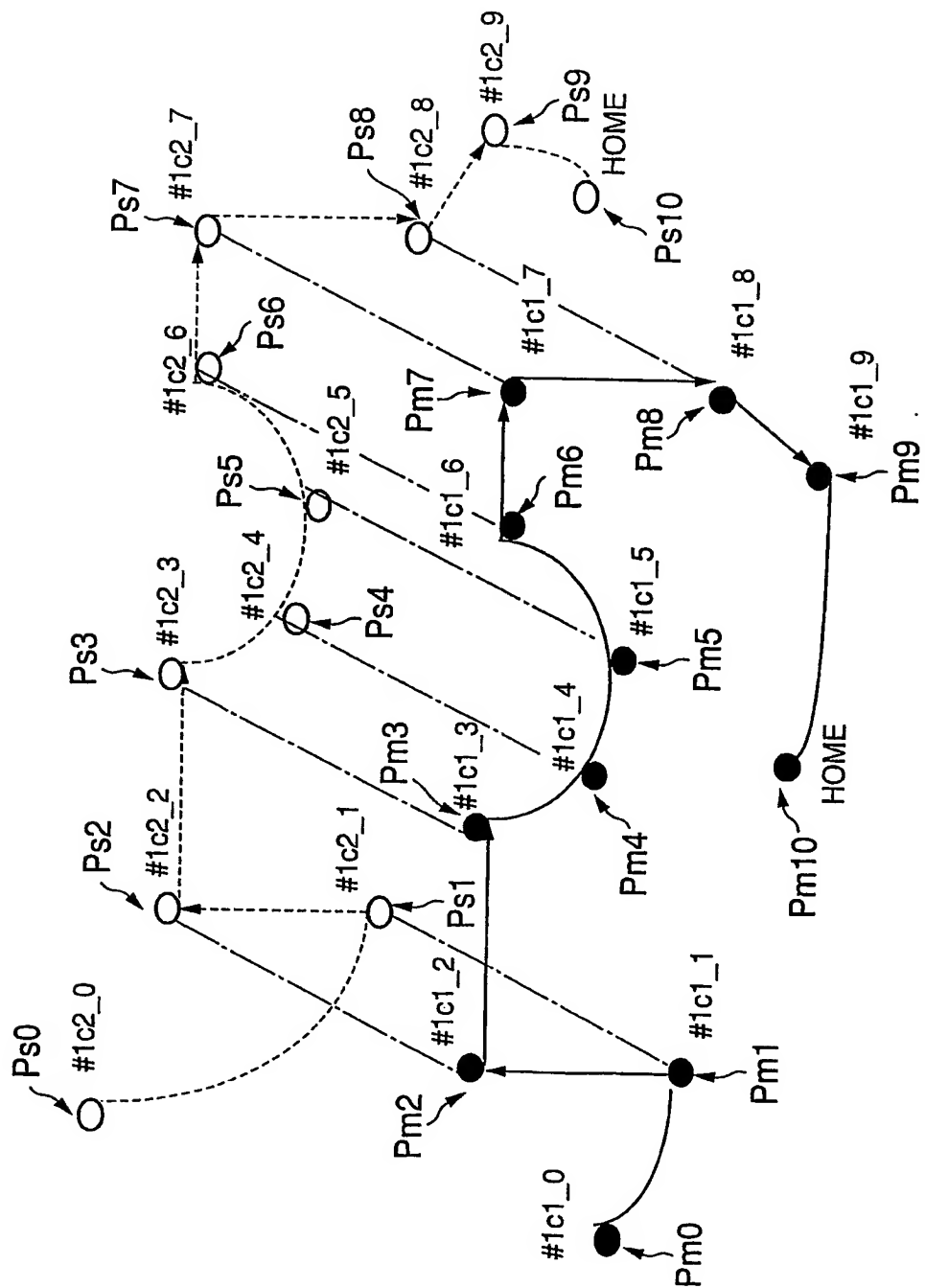


FIG. 9

8/9

```
PROGRAM master()
1 JMOVE      #1c1_0
2 LMOVE      #1c1_1
3 CLOSE
4 MASTER
5 SIGNAL 2
6 SIGNAL 2:2
7 MLLMOVE    #1c1_2,#1c2_2
8 MLLMOVE    #1c1_3,#1c2_3
9 SWAIT 1001
10 SWAIT 2:1001
11 MLC1MOVE   #1c1_4,#1c2_4
12 MLC1MOVE   #1c1_5,#1c2_5
13 MLC2MOVE   #1c1_6,#1c2_6
14 MLLMOVE    #1c1_7,#1c2_7
15 MLLMOVE    #1c1_8,#1c2_8
16 ALONE
17 OPEN
18 SWAIT 1002
19 LMOVE      #1c1_9
20 HOME
END
```

```
PROGRAM slave()
1 JMOVE      #1c2_0
2 LMOVE      #1c2_1
3 CLOSE
4 SWAIT 1002
5 SLAVE
6 ALONE
7 OPEN
8 SIGNAL 2
9 LMOVE      #1c2_9
10 HOME
END
```

FIG. 10

9/9

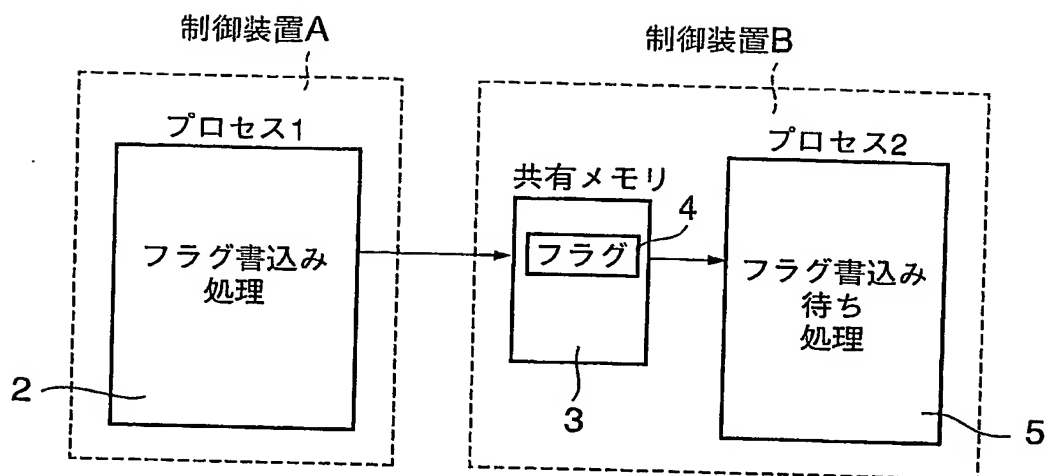


FIG. 11

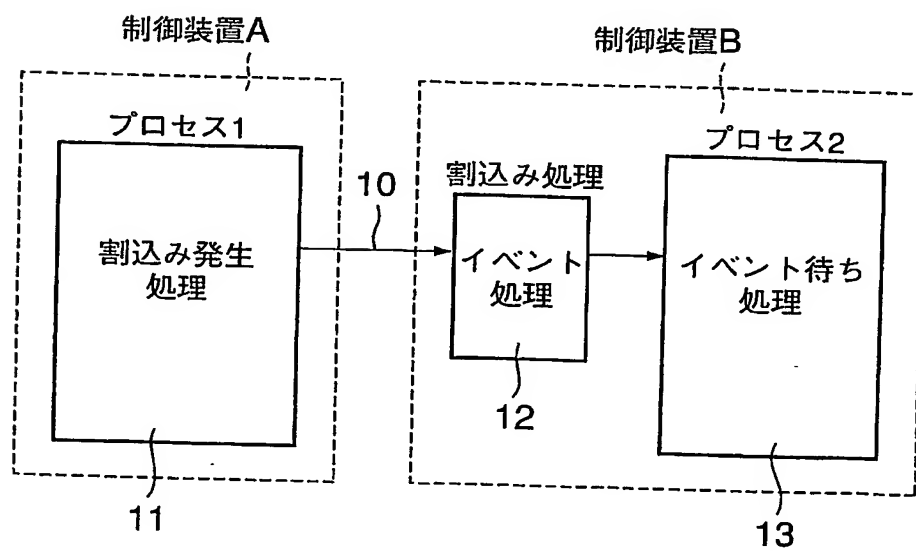


FIG. 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/11620

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ B25J9/16, B25J9/22, B25J3/00, B25J13/00, G05B19/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ B25J9/16, B25J9/22, B25J3/00, B25J13/00, G05B19/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1090722 A2 (Fanuc Ltd.),	1, 5, 6, 9
Y	11 April, 2001 (11.04.01),	7, 8
A	Claims; Figs. 1 to 15 & JP 2001-150372 A	2-4
X	US 5254923 A (Nachi-Fujikoshi Corp.),	1
Y	19 October, 1993 (19.10.93),	5-9
A	Claims; Figs. 1 to 6 & JP 2880590 B2	2-4
Y	JP 10-272583 A (Nachi-Fujikoshi Corp.), 13 October, 1998 (13.10.98), Claims; Figs. 1 to 2 (Family: none)	1, 5-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

*

Special categories of cited documents:

"A"

document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E"

earlier document but published on or after the international filing date

"L"

document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O"

document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P"

document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 February, 2003 (18.02.03)

Date of mailing of the international search report

04 March, 2003 (04.03.03)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/11620

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 8-381 B2 (Nachi-Fujikoshi Corp.), 10 January, 1996 (10.01.96), Claims (Family: none)	7
Y	JP 9-207088 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 12 August, 1997 (12.08.97), Claims; Figs. 1 to 5 (Family: none)	8
Y	JP 5-111897 A (Fanuc Ltd.), 07 May, 1993 (07.05.93), Claims; Figs. 1 to 4 (Family: none)	8
A	JP 5-250017 A (Nachi-Fujikoshi Corp.), 28 September, 1993 (28.09.93), Claims; Figs. 1 to 4 (Family: none)	2-4
A	JP 9-69007 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 11 March, 1997 (11.03.97), Claims; Figs. 1 to 5 (Family: none)	2-4
A	JP 2687936 B2 (NEC Corp.), 08 December, 1997 (08.12.97), Claims; Figs. 1 to 5 (Family: none)	2-4
A	JP 2621560 B2 (Nissan Motor Co., Ltd.), 18 June, 1997 (18.06.97), Page 7, left column, lines 24 to 28; Figs. 1 to 3 (Family: none)	2-4
A	JP 9-85654 A (Yaskawa Electric Corp.), 31 March, 1997 (31.03.97), Claims; Figs. 1 to 5 (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ B25J9/16, B25J9/22, B25J3/00,
B25J13/00, G05B19/18

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ B25J9/16, B25J9/22, B25J3/00,
B25J13/00, G05B19/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1926-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2003年
日本国登録実用新案公報	1994-2003年
日本国実用新案登録公報	1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	EP 1090722 A2 (Fanuc Ltd), 2001. 04. 1 1, 特許請求の範囲, 第1-15図 & JP 2001-150372 A	1,5,6,9 7,8 2-4
X Y A	US 5254923 A (Nachi-Fujikoshi Corp.), 1993. 1 0. 19, 特許請求の範囲, 第1-6図 & JP 2880590 B2	1 5-9 2-4
Y	JP 10-272583 A (株式会社不二越), 1998. 1 0. 13, 特許請求の範囲, 第1-2図 (ファミリーなし)	1,5-9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18. 02. 03

国際調査報告の発送日

04.03.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

高田 元樹



3C

9821

電話番号 03-3581-1101 内線 3322

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 8-381 B2 (株式会社不二越), 1996. 01. 10, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	7
Y	J P 9-207088 A (松下電器産業株式会社), 1997. 08. 12, 特許請求の範囲, 第1-5図 (ファミリーなし)	8
Y	J P 5-111897 A (ファナック株式会社), 1993. 05. 07, 特許請求の範囲, 第1-4図 (ファミリーなし)	8
A	J P 5-250017 A (株式会社不二越), 1993. 09. 28, 特許請求の範囲, 第1-4図 (ファミリーなし)	2-4
A	J P 9-69007 A (日産自動車株式会社), 1997. 03. 11, 特許請求の範囲, 第1-5図 (ファミリーなし)	2-4
A	J P 2687936 B2 (日本電気株式会社), 1997. 12. 08, 特許請求の範囲, 第1-5図 (ファミリーなし)	2-4
A	J P 2621560 B2 (日産自動車株式会社), 1997. 06. 18, 第7頁左欄第24-28行, 第1-3図 (ファミリーなし)	2-4
A	J P 9-85654 A (株式会社安川電機), 1997. 03. 31, 特許請求の範囲, 第1-5図 (ファミリーなし)	1-9